

## ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 621.85-52

Борисюк М.Д., Толстолицький В.О., Стрімовський С.В., Соловйов В.М.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РУХЛИВОСТІ ЛЕГКОБРОНЬОВАНОЇ КОЛІСНОЇ ВІЙСЬКОВОЇ МАШИНИ З ГІДРОМЕХАНІЧНОЮ ТРАНСМІСІЄЮ

**Актуальність проблеми.** Вітчизняні бойові колісні й гусеничні машини, як правило, оснащені механічними трансмісіями з ручним керуванням, які мають високий коефіцієнт корисної дії й надійно працюють у важких дорожніх умовах. Однак режим перемикання передач у цих трансмісіях задається водієм суб'єктивно й залежить від його кваліфікації. Помилки у виборі потрібної передачі приводять до зниження тягового зусилля військової машини у порівнянні з технічно можливим та падіння швидкості й росту витрати палива, а також сприяють зменшенню ресурсу роботи двигуна та трансмісії.

Таким чином, гостро стоїть науково-технічне завдання, що полягає у розробці та впровадженні автоматичної трансмісії на легкоброньовану колісну військову машину (ЛКВМ). Завдяки розвитку технологій в галузі автомобілебудування стало можливим рішення цього завдання шляхом розробки гідромеханічної трансмісії з системою автоматичного керування, що забезпечує надійну роботу та високу ефективність колісних військових машин, а також підвищує ергономічність транспортного засобу.

На всіх етапах проектування необхідне застосування сучасних методів аналізу якості конструктивних рішень і ефективності застосованих алгоритмів, що вимагає розробки комплексної математичної моделі спроектованого транспортного засобу.

На основі досвіду, накопиченого в КП ХКБМ, розроблена автоматична трансмісія з використанням гідротрансформатора (ГТР), планетарної механічної коробки зміни передач (КЗП) з гідрокеруванням і редуктора, що погоджує роботу двигуна та гідротрансформатора.

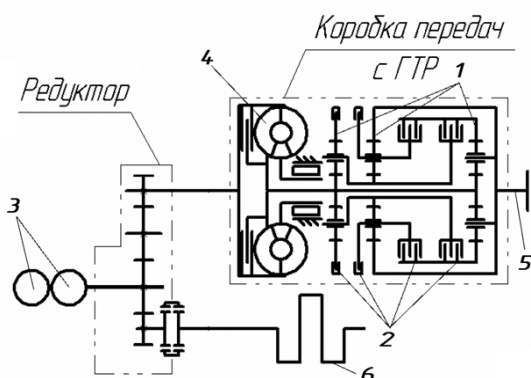


Рисунок 1 – Кінематична схема силової передачі

- 1 – планетарні ряди; 2 – фрикціони;  
3 – двосекційний шестерняний насос;  
4 – ГТР; 5 – вихідний вал; 6 – ДВС

Кінематична схема КЗП була синтезована з міркувань оптимальних умов роботи із ГТР. У результаті була отримана схема із трьома ступенями свободи з повною реалізацією всіх можливих варіантів парних комбінацій керуючих елементів (фрикціонів) (рис. 1). Розбивка по передачах найбільше повно відповідає роботі КЗП із ГТР, що забезпечило досягнення найкращих динамічних характеристик розгону ЛКВМ.

На всіх етапах проектування та впровадження гідромеханічної трансмісії із системою автоматичного керування (САК) для визначення параметрів рухливості ЛКВМ використалася розроблена комплексна математична модель навантаженого стану шасі та системи автомати-

чного керування коробкою зміни передач ЛКВМ. У рамках комплексу реалізовані математичні моделі двигуна, гідротрансформатора, трансмісії, взаємодії колеса із ґрунтом і руху колісної машини по рівній горизонтальній поверхні.

Математична модель моторно-трансмісійної установки являє собою систему матричних рівнянь (1):

$$\begin{cases} J\ddot{\phi} + B^T M_{\text{рп}} + B_{\text{ф}}^T \cdot M_{\text{рф}} = M_{\text{Аф}} \\ B\ddot{\phi} = 0 \\ B_{\text{ф}}\ddot{\phi} + A \cdot M_{\text{рф}} = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

де  $J$  – квадратна діагональна матриця моментів інерції елементів трансмісії;  $B$  – матриця рівнянь постійних кінематичних зв'язків;  $A$  – квадратна діагональна матриця коефіцієнтів стану системи;  $M_{\text{Аф}}$  – вектор узагальнених сил;  $B_{\text{ф}}$  – матриця зв'язків, обумовлених замкнутими фрикційними пристроями змінної структури.

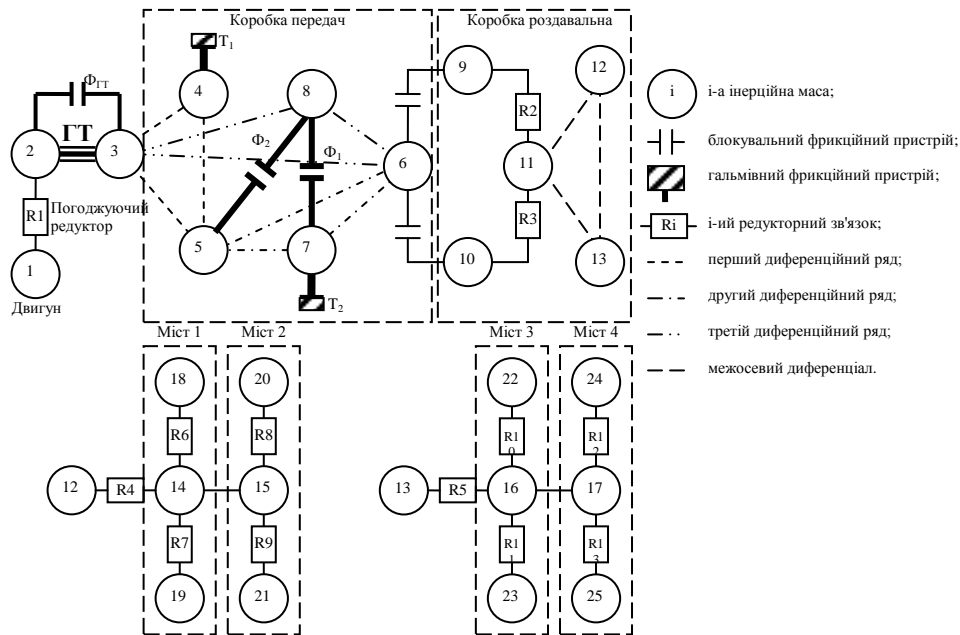


Рисунок 2 – Розрахункова динамічна модель силової установки

При розробці математичної моделі гідротрансформатора особлива увага приділена обліку додаткових особливостей кінематики й структури потоку робочої рідини в ГТР. Вихідними даними для математичної моделі ГТР служать геометричні параметри лопаткових коліс і проточної порожнини, а також вхідні навантажувальні характеристики, обумовлені двигуном. Модель заснована на використанні модифікованого рівняння балансу гідравлічної енергії, що дозволяє робити розрахунок визначення безрозмірного коефіцієнта швидкості потоку.

Підставляючи отримані розрахунковим шляхом значення коефіцієнта швидкості в рівняння моделі ГТР, здійснювався розрахунок параметрів зовнішньої й внутрішньої характеристик, які надалі використовуються в розрахунковій динамічній моделі силової установки.

Моделювання руху колісної машина на рівній горизонтальній поверхні здійснюється з урахуванням відведення шин, стабілізуючого та моменту опору ковзанню, та ґрунтується на рівняннях рівноваги збуреного руху машини:

$$\left\{ \begin{aligned} & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 R_{xij} \cos \Theta_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 R_{yij} \sin \Theta_{ij} - \dot{y} \cdot \dot{Q} = m_M \ddot{x} \\ & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 R_{xij} \sin \Theta_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 R_{yij} \cos \Theta_{ij} + \dot{x} \cdot \dot{Q} = m_M \ddot{y} \\ & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 R_{xij} \sin \Theta_{ij} l_{li} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 R_{yij} \cos \Theta_{ij} l_i - m_M a_y l_c - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 M_{СПij} + \\ & + \left( \sum_{i=1}^n R_{xi2} \cos \Theta_{i2} - \sum_{i=1}^n R_{xi1} \cos \Theta_{i1} - \sum_{i=1}^n R_{yi2} \sin \Theta_{i2} + \sum_{i=1}^n R_{yi1} \sin \Theta_{i1} \right) \frac{B}{2} = I_M \cdot \ddot{Q} \end{aligned} \right. , \quad (2)$$

де  $B$  – колія машини;  $l_c$  – відстань до центра мас від задньої осі;  $l_i$  – відстань від задньої до  $i$ -ої осі;  $m$ ,  $I_M$  – маса й момент інерції в обертвовому русі машини відповідно;  $\Theta_{ij}$  – кут повороту коліс;  $M_{СП}$  – момент опору повороту колеса.

У рівняннях індексом  $i$ , позначений номер осі, індексом  $j$  – номер борту ( $j = 1$  – внутрішній борт;  $j = 2$  – зовнішній борт).

Сили тяги на ведучих колесах та продовжні реакції ґрунту визначаються за допомогою моделювання кінематичної й силової взаємодії моторно-трансмісійної установки з корпусом машини, що ґрунтується на застосуванні тягово-зчіпних характеристик ґрунту, що дозволяє враховувати юз і буксування коліс.

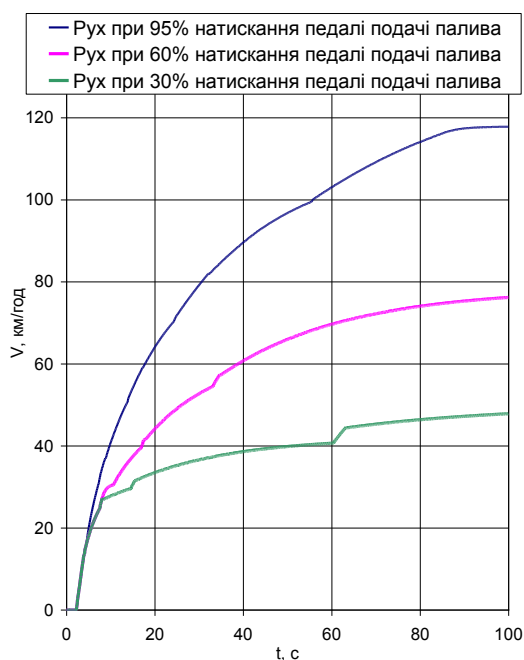


Рисунок 3 – Зміна швидкості руху ЛКВМ у процесі розгону на бетонному покритті

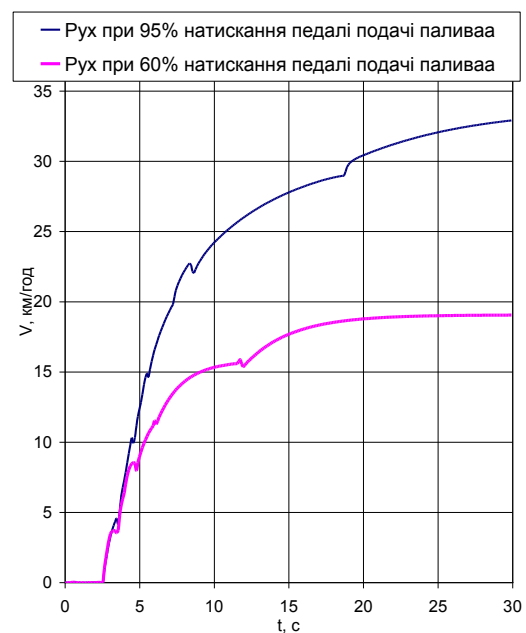


Рисунок 4 – Зміна швидкості руху ЛКВМ у процесі розгону в тяжких умовах руху на зниженій передачі

За допомогою розробленої математичної моделі проведений ряд чисельних експериментів, який продемонстрував високі показники рухливості ЛКВМ із розробленою автоматичною трансмісією, а також ефективність алгоритмів системи керування.

Дослідження розгінних характеристик проводилося при русі ЛКВМ по бетонному шосе та в умовах бездоріжжя із включеною понижувальною передачею в роздавальній коробці. На рис. 3 і 4 наведені розгінні характеристики ЛКВМ при русі в різних дорожніх умовах, при повному (95 %) і частковому натисканні (60 % і 30 %) педалі подачі палива.

Результати чисельного експерименту по визначенню характеристик розгону ЛКВМ із впровадженою автоматичною трансмісією показав, що обрані параметри закону керування забезпечують зміну передач при русі в різних дорожніх умовах, як при повному, так і при частковому натисканні на педаль подачі палива.

Алгоритми автоматичної системи керування коробкою передач передбачає певну послідовність дій при рушанні машини з місця, що забезпечує включення першої або другої передачі (залежно від обраного режиму руху) при низьких ( $1200\text{--}1300\text{ хв}^{-1}$ ) частотах обертання вала двигуна. Дослідження режиму рушання з місця ЛКВМ із 2-ої передачі АКЗП (рис. 5) показало, що впроваджений алгоритм дозволив знизити буксування коліс при рушанні машини з місця не знижуючи динаміки розгону.

Як видно на рис. 5 початок руху машини при частоті обертання вала двигуна  $1900\text{ хв}^{-1}$  приводить до інтенсивного зростання кінематичної швидкості руху машини, що визначається як:

$$V_K = n_{BK} \cdot R_{BK} , \quad (3)$$

де  $n_{BK}$  – частота обертання ведучого колеса;  $R_{BK}$  – радіус ведучого колеса.

При цьому дійсна швидкість руху змінюється не значно, що говорить про значну пробуксовку коліс. У той же час рушання при частоті обертання вала двигуна  $1200\text{ хв}^{-1}$  ефект пробуксовки коліс не спостерігається.

При русі в міських умовах по завантажених транспортних магістралях або при маневруванні, часто використовується режим гальмування двигуном для зниження швидкості руху. У розробленій автоматичній трансмісії даний режим включається при повністю відпущеній педалі подачі палива. Результати дослідження режиму гальмування двигуном при русі по бетонному покриттю наведені у табл. 1.

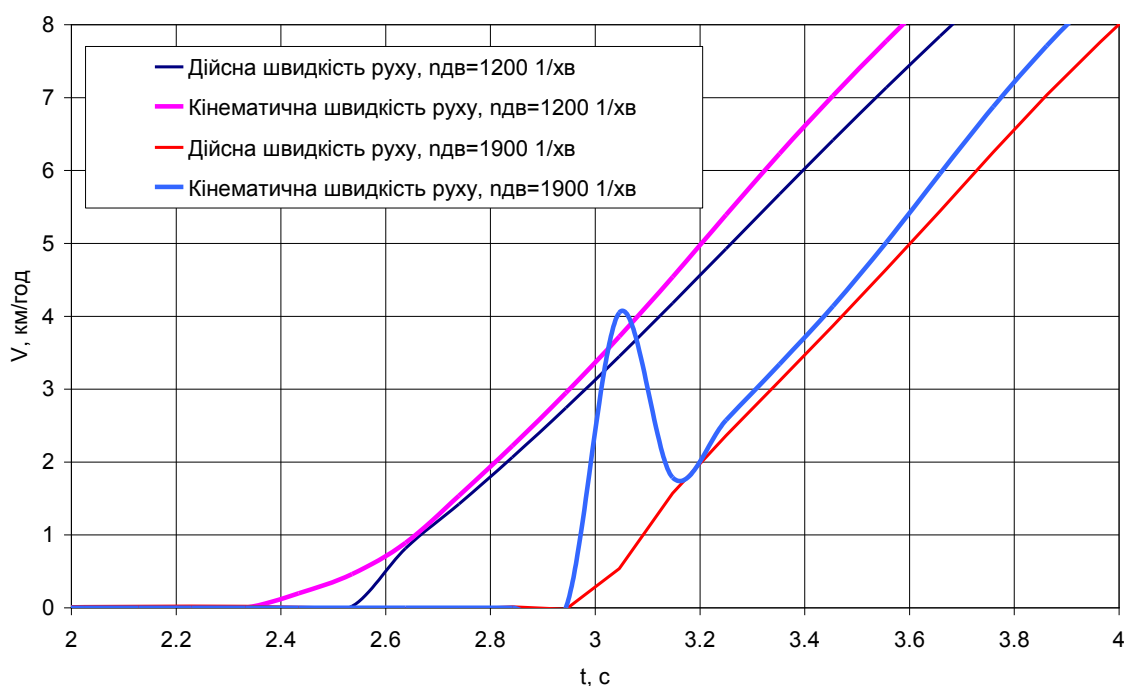


Рисунок 5 – Зміна дійсної та кінематичної (по ведучому колесу) швидкості руху в процесі руху машини з місця

Таблиця 1 – Час гальмування машини двигуном до швидкості 12 км/год

Контрольна швидкість руху, км/год	Час гальмування, с
80	40
60	28,2
40	14,3
30	8,8

При русі по завантажених магістралях поряд із плавним гальмуванням виникає необхідність інтенсивного набору швидкості. У розробленій САК реалізований, так званий, режим "Кик-Даун", який призначений для підвищення інтенсивності розгону за рахунок включення нижчої передачі при перетисканні демпфера педалі подачі палива. Включення даного режиму здійснюється у випадку руху на знижених частотах обертання вала двигуна, що передують перетисканню демпфера.

Для аналізу роботи розробленої САК при русі ЛКВМ у режимі "Кик-Даун" застосовувався наступний алгоритм дій водія:

1. Інтенсивний розгін до необхідної передачі АКЗП.
2. Зменшення кута повороту педалі подачі палива до 25 % від повного ходу.
3. Тимчасова затримка, що забезпечує рух з постійною швидкістю.
4. Перетискання демпфера педалі подачі палива.

Дослідження роботи алгоритму "Кик-Даун" проводилося при русі ЛКВМ по бетонному покриттю.

Найкращу ефективність застосування режиму "Кик-Даун" показало при розгоні з 4 та 5 передач КЗП (рис. 7 та 8). Низька ефективність застосування даного режиму при розгоні з 3-їм передачею КЗП

(рис. 6) обумовлена значним тяговим зусиллям, що значно перевершує зусилля опору прямолінійному руху.

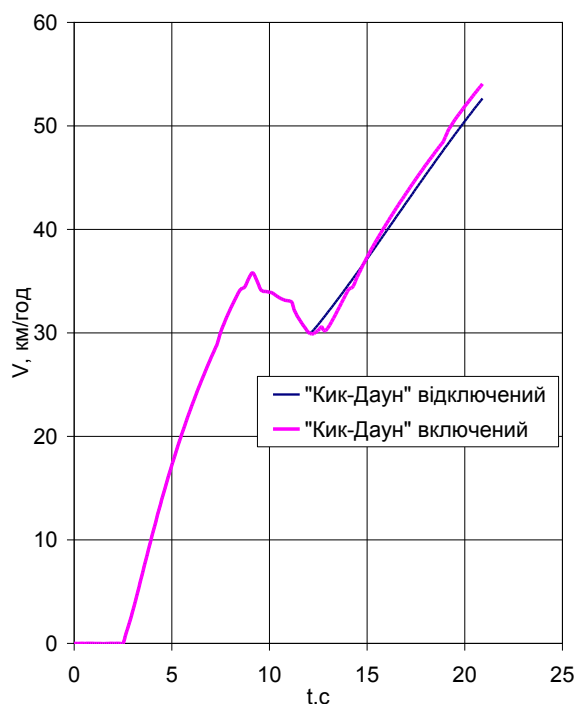


Рисунок 6 – Вплив режиму "Кик-Даун" на зміну швидкості руху машини на 3 передачі КЗП

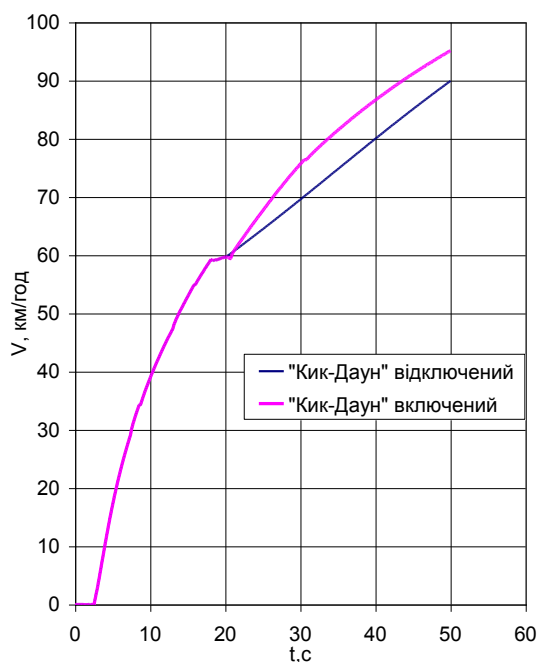


Рисунок 8 – Вплив режиму "Кик-Даун" на зміну швидкості руху машини на 5 передачі КЗП

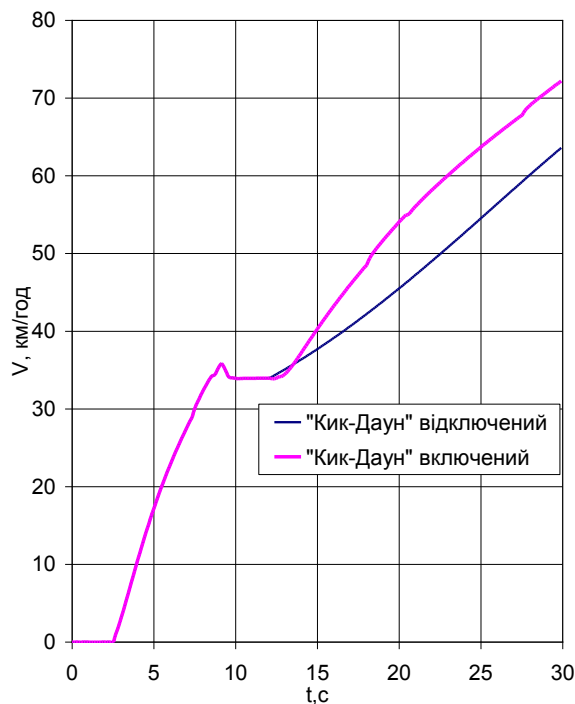


Рисунок 7 – Вплив режиму "Кик-Даун" на зміну швидкості руху машини на 4 передачі КЗП

Дослідження ефективності застосування режиму "Кик-Даун" показало значне збільшення динаміки руху ЛКВМ, при цьому час розгону скоротилося в середньому на 14–18,5 %.

### Висновки

1. Одержали подальший розвиток методи аналізу та математичного моделювання транспортних засобів. Розроблено комплексну математичну модель шасі колісної машини та системи автоматичного керування коробкою зміни передач, що дозволяє вирішувати завдання аналізу кінематики та динаміки руху елементів трансмісії, а також аналізу рухливості колісної машини. Дана математична модель відрізняється від існуючої повнотою обліку структурних ланок і докладністю описаних процесів

2. Проведено комплекс чисельних експериментів, завдяки чому визначені характеристики рухливості машини з розробленою автоматичною трансмісією й оцінена якість роботи алгоритмів системи керування ще до виробництва реального дослідного зразка. Результати математичного моделювання були підтверджені в ході стендових і ходових випробувань зразка легкоброньованої колісної військової машини розробки КП ХКБМ ім. О.О. Морозова.

Література

1. Соловьев В.М., Кошман В.А. К вопросу создания гидротрансформатора для экономичной автоматической коробки передач // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – №6/5(36). – С. 7–10.
2. Толстолуцкий В.О. Аналіз і параметричний синтез механічних трансмісій сучасних швидкохідних гусеничних машин: Дис. канд. техн. наук: 05.22.02. – Харків, 2007. – 134 с.
3. Александров Е.Е., Стримовский С.В. Особенности проектирования электронной аппаратуры управления для транспортных средств // Вісник аграрної науки Причорномор'я. Спеціальний випуск 2(41). – 2007. – С. 107–109.
4. Волонцевич Д.О., Епифанов В.В., Белов В.К. Колесные и гусеничные машины высокой проходимости. Ступенчатые трансмиссии: Расчет и основы конструирования. Учеб. Пособие. / Под ред. Александра Е.Е. – Харьков: ХГПУ, 1996. – 201с.
5. Колесные и гусеничные машины высокой проходимости. Том 7. Автоматизированное проектирование колесных и гусеничных машин Книга 2. Автоматизированное проектирование электронных и микропроцессорных систем колесных и гусеничных машин. Учеб. Пособие. / Александров Е.Е., Александрова И.Е., Воронцов С.Н., Грита Я.В. / Под общ. ред. Александра Е.Е. – Харьков: ХГПУ, 1996. – 137 с.

УДК 621.85-52

Борисюк М.Д., Толстолуцкий В.А., Стримовский С.В., Соловьев В.М.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДВИЖНОСТИ ЛЕГКОБРОНИРОВАННОЙ КОЛЕСНОЙ ВОЕННОЙ МАШИНЫ С ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ**

В работе предложена комплексная математическая модель шасси колесной машины с автоматической трансмиссией. Благодаря которой проведен комплекс численных экспериментов, которые позволили определить характеристики подвижности машины и оценить качество работы алгоритмов системы управления еще производства опытного образца.

Borisyuk M.D., Tolstolutskiy V.A., Strimovskiy S.V., Solovyov V.M.

**RESEARCH OF MOBILITY FEATURES FOR LIGHTARMoured WHEEL MILITARY VEHICLES WITH HYDROMECHANICAL TRANSMISSION**

Complex mathematical model of wheel vehicle with automatic transmission is offered at the article. Due to usage of offered mathematical model complex numerical experiment was organized. It allowed to define the mobility features of the vehicle and quality of control system algorithm work before the pilot model was created.